

Кирога Уртадо Джон

**КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ  
С ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНОЙ  
В ДИЛАТОННОЙ ГРАВИТАЦИИ  
С УЧЕТОМ КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ**

01.04.02 Теоретическая физика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук



Томск - 2003

Работа выполнена в Томском государственном  
педагогическом университете

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук,  
профессор Одинцов Сергей Дмитриевич

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук,  
профессор Эпп Владимир Яковлевич;

доктор физико-математических наук,  
Нестеренко Владимир Витальевич

**Ведущая организация:**

Томский политехнический университет

Защита состоится 27 декабря 2003 года в 14.00 часов на заседании  
диссертационного совета К 212.266.01 при Томском государственном  
педагогическом университете по адресу: 634041, г. Томск, пр. Комсомольский, 75.

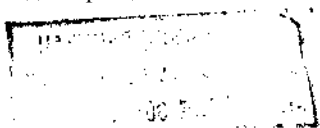
С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского  
государственного педагогического университета.

Автореферат разослан «27» ноября 2003 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Румбешта Е.А.



# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## Актуальность темы диссертации

В последнее время возник большой интерес к исследованиям пространства Анти-де Ситтера (AdS). Это, в основном, мотивировано предположением о существовании некоторого дуализма между AdS и конформной теорией поля (CFT). Согласно этому предположению (в простейшей форме), свойства классического пространства AdS могли бы соответствовать свойствам некоторой дуальной конформной теории поля меньшей размерности.

С другой стороны, факт, что пространство Анти-де Ситтера является главным пространством в соответствии «Анти-де Ситтер / конформная теория поля», объясняет большой интерес к подобным пространствам при исследовании многих вопросов, в частности, точного вакуума в теориях струн или в теориях супергравитации и суперструн. Кроме того, возникает интерес к данному пространству в рамках теорий супергравитации с учетом скаляров (дилатонов) и моделей супергравитации, содержащих космологическую постоянную (т.е. теории калибровочной супергравитации). Нужно отметить также, что в моделях типа Рэндалл-Сандрума фоновое пространство представляет собой пространство Анти-де Ситтера. Более того, предполагается, что во Вселенной могут быть топологически нетривиальные регионы, типа Анти-де Ситтера, или черные дыры, построенные на базе пространства Анти-де Ситтера.

С другой стороны, квантовая теория поля в искривленном пространстве-времени может способствовать нашему пониманию рож-

дения ранней Вселенной. В частности, одна из наиболее успешных моделей (так называемая, инфляция Старобинского) основана на рождении Вселенной де Ситтера благодаря квантовым эффектам материи. Это вызывает большой интерес к вопросу о том, является ли это специфическим свойством пространства де Ситтера или это достаточно общее явление, имеющее место в пространствах с постоянной кривизной. Более того, пространства де Ситтера и Анти-де Ситтера относятся к одному классу пространств (с постоянной кривизной).

Известно, что инфляционная Вселенная считается достаточно реальной, являясь одним из элементов развития ранней Вселенной. Однако, недавно появившиеся астрофизические данные показывают, что настоящая Вселенная также раздувается, а это означает, что Вселенная также может сейчас находиться в начале фазы инфляции. Ввиду этого, можно выдвигать новые предположения о переформулировке квантовой космологии и построении новых (модифицированных) версий теории очень ранней Вселенной.

Таким образом, в настоящее время симметрические пространства постоянной кривизны типа де Ситтера и Анти-де Ситтера являются чрезвычайно важными, так как такие пространства описывают очень раннюю Вселенную и, возможно, Вселенную в будущем, после недавно обнаруженного космического ускорения. Другими словами, данный подход, на основе указанных пространств позволит нам прояснить картину ранней Вселенной и, кроме того, картину нашей Вселенной в будущем, чем и объясняется актуальность поставленной нами задачи.

## **Цель работы**

Исследование различных космологических и фундаментальных аспектов, пространств с постоянной кривизной, которые определяют структуру нашей Вселенной при учете квантовых эффектов материи.

## **Научная новизна работы**

Научная новизна работы обусловлена получением в диссертации следующих оригинальных результатов:

1. Для модели Рэндалла-Сандрума в 6 измерениях вычислен эффективный потенциал с учетом вкладов от 4-мерных параметров в 4-мерные бета-функции.
2. Доказана возможность спонтанного нарушения симметрии, индуцированного двумя дополнительными измерениями (в нашем случае они выбраны в виде конуса), что происходит, в основном, благодаря параметрам многомерной теории. Это указывает на то, что дополнительные измерения в мембранных мирах могут играть важную роль в феноменах типа эффекта Хштса и спонтанного нарушения симметрии. В искривленном 4-мерном пространстве-времени мы можем предполагать, что здесь имеют место фазовые переходы, индуцированные дополнительными измерениями, и это могло бы иметь применение в космологии ранней Вселенной.
3. С использованием конформной аномалии для скаляра, взаимодействующего с дилатоном, мы получили индуцированное действие и уравнения движения при рассмотрении возможности квантового рождения Вселенной Анти-де Ситтса (AdS).

4. Было показано, как форма дилатонного потенциала влияет на возможность квантового рождения Вселенной AdS. Также было показано, какую роль играет взаимодействие квантовой материи с дилатоном в стабилизации Вселенной AdS.

5. При применении эффективного действия, индуцированного аномалией, для скаляра, взаимодействующего с дилатоном, были предложены уравнения движения для различных дилатонных потенциалов. В результате, было показано, что возникает возможность квантового рождения дилатонной Вселенной типа AdS.

6. Была показана возможность квантового рождения дилатонной Вселенной типа AdS, когда дилатонный потенциал определяется как функция формы  $\dot{u}$ , с помощью численных методов для подборки значений параметра  $a$ .

7. При рассмотрении влияния фантомных и квантовых эффектов во Вселенной Анти-де Ситтера мы показали, что в том случае, когда материя состоит из фантомов (скаляров с отрицательной энергией), идеальной жидкости и квантовых компонентов конформной теории поля возможно рождение Вселенной Анти-де Ситтера. При этом большинство из хорошо известных условий энергодоминантности сохраняются.

8. При рассмотрении  $N = 4$  теории супер Янга Миллса, с учетом скаляров, взаимодействующих с дилатонами, вычислено эффективное действие на дилатонно-гравитационном фоне с помощью конформной аномалии, полученной посредством соответствия «Анти-де Ситтера / конформная теория поля».

9. Были получены уравнения движения и их приближенные решения для данной теории супер Янга-Миллса.

К). Была рассмотрена квантовая космология на базе  $N = 4$  теории супер Янга Миллса на дилатонно-фавитационном фоне, где суперсимметрия нарушается скалярными полями с учетом космологической постоянной в классическом действии. В качестве решения мы нашли конформно-плоскую инфляционную Вселенную с экспоненциальным убывающим дилатоном.

11. В рамках нашей теории проанализирована устойчивость и показано, что инфляция проявляет стабильное поведение.

### **Научная и практическая значимость работы**

В рассмотренных моделях Вселенной Анги-де Ситтера впервые была показана возможность стабилизации такой модели Вселенной посредством дилатонного потенциала с учетом взаимодействия квантовой материи с дилатоном.

На основе астрофизических данных о космическом ускорении, получение результатов, подтверждающих факт стабильности инфляции настоящей Вселенной, указывает на правильность пути для дальнейшего исследования и понимания ранней Вселенной и будущей Вселенной после такого ускорения.

### **Результаты, выносимые на защиту:**

1. Для шестимерной модели Рэндалла-Сандрума вычислен четырехмерный эффективный потенциал (на границе шестимерного пространства) с учетом вкладов от 4-мерных параметров в 4-мерные бета-функции.

2. Был доказан тот факт, что может иметь место спонтанное нарушение симметрии, индуцированное двумя дополнительными измерениями (в нашем случае выбраны в виде конуса), что обусловлено эффектами многомерной теории. Это указывает на то, что внешние измерения могут играть важную роль в феноменах типа эффекта Хиггса и спонтанного нарушения симметрии.

3. С использованием конформной аномалии для скаляра, взаимодействующего с дилатоном, получено индуцированное действие и уравнения движения при рассмотрении возможности рождения Вселенной Анти-де Ситтера.

4. Доказано, что форма дилатонного потенциала определяет возможность квантового рождения Вселенной AdS. Также было показано, какую роль играет взаимодействие квантовой материи с дилатоном в стабилизации Вселенной AdS.

5. С использованием эффективного действия, индуцированного аномалией, были обсуждены уравнения движения для различных дилатонных потенциалов. В результате, указано, что возникает возможность квантового рождения дилатонной Вселенной AdS.

6. Возможность квантового рождения дилатонной Вселенной AdS была показана для нескольких частных типов дилатонного потенциала.

7. При рассмотрении влияния квантовых эффектов во Вселенной Анти-де Сигтера показано, что в том случае, когда материя состоит из фантомов, идеальной жидкости и квантовых компонентов конформной теории поля, возможно рождение Вселенной Анти-де Ситтера.



Очевидно, что наши исследования продолжают линию, инициированную академиком А.А. Старобинским в его работах 1980-1990 годов, по инфляции, индуцированной аномалией.

8. При рассмотрении  $N = 4$  теории супер Янга Миллса, со скалярной материей, взаимодействующей с дилатонами, мы нашли эффективное действие на дилатонно-гравитационном фоне с помощью конформной аномалии, полученной посредством соответствия «Анти-дс Ситтера / конформная теория поля».

9. Исследована квантовая космология на базе  $N = 4$  теории супер Янга-Миллса на дилатонно-гравитационном фоне, где суперсимметрия нарушается скалярными полями с учетом космологической постоянной в классическом действии. В качестве решения мы нашли конформно-плоскую инфляционную Вселенную с экспоненциальным убывающим дилатоном.

### **Апробация работы**

Результаты диссертационной работы докладывались на международной конференции «Теоретические и экспериментальные проблемы общей теории относительности и гравитации» (Томск, 2002); на Международной школе «Гравитация, струны и квантовая теория поля» (Томск, 2002); на конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» Томский государственный педагогический университет (Томск, 2003); на XV международной летней школе-семинаре по современным проблемам теоретической и математической физики «Волга-15, 2003» (Казань, 2003); на объединенных семинарах Лаборатории Фундаментальных Исследований и кафедры математического анализа ТГПУ.

## Публикации

По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

## Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Список литературы содержит 116 наименований. Общий объем составляет 100 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, сделан краткий обзор по проблематике диссертации, приведены структура и содержание диссертации.

**Первая глава** носит обзорный характер и призвана обеспечить основу для дальнейшего изложения. Она посвящена различным методам регуляризации, поскольку центральным объектом нашего исследования является эффективное действие.

В первом параграфе в общих чертах характеризуются различные методы, которые используются в квантовой теории поля для регуляризации расходимостей, возникающих при вычислении эффективного действия. Кроме того, детально описывается метод дзета-регуляризации в вычислении однопетлевого эффективного действия.

Во втором параграфе дается характеристика связи дзета-ре-уляризации с другими методами регуляризации, а именно, регуляризации по собственному времени и размерной регуляризации.

**Вторая глава** посвящена спонтанному нарушению симметрии в мембранном мире.

В первом параграфе дается описание бранной модели Рэндалла-Сандрума, которая представляет собой одну из наиболее интересных моделей многомерной Вселенной с постоянной кривизной.

Во втором параграфе сделан обзор по уравнениям ренормализационной группы в искривленном пространстве-времени.

В третьем параграфе приводится вычисление эффективного потенциала в однопетлевом приближении с учетом ренормализационной группы.

В четвертом параграфе проводится анализ с целью поиска спонтанного нарушения симметрии при подборке параметров для рассматриваемой модели.

**Третья глава** посвящена квантовым эффектам во Вселенной Анти-де Ситтера.

В первом параграфе дается описание модели и метрики для Вселенной Анти-дс Ситтера.

Во втором параграфе изучается эффективное действие и выводятся уравнения движения для квантовой теории в пространстве типа AdS с дилатоном.

В третьем параграфе рассматриваются различные теории взаимодействия с дилатонами, стабилизация Вселенной Анти-де Ситтера для различных дилатонных потенциалов с целью определения роли формы дилатоющего потенциала в рождении и стабилизации Вселенной Анти-де Ситтера.

В четвертом параграфе характеризуется иная модель Вселенной Анти-де Ситтера, полная, с классической материей, фантомным скаляром и идеальной жидкостью, с учетом еще и квантовых вкладов. Квантовые эффекты описываются посредством конформной аномалии. Обсуждается аналогия между нашей моделью, сформулированной в пространстве Анти-де Ситтера, и соответствующей моделью во Вселенной де Ситтера. Рассматривается вопрос о том, как энергетические условия удовлетворяются фантомной Вселенной AdS такого рода.

**Четвертая глава** затрагивает модель инфляционной дилатонной Вселенной де Ситтера.

В первом параграфе рассматривается инфляционная дилатонная Вселенная де Ситтера на базе  $N = 4$  теории супер Янга-Миллса, с учетом скаляров. Вычислено эффективное действие для такой теории на дилатонно-гравитационном фоне с использованием конформной аномалии, полученной посредством соответствия «Анти-де Ситтер / конформная теория поля». С учетом такого эффективного действия (используя метод больших  $N$ ), как квантовой поправки к классическому гравитационному действию с космологической постоянной, рассматривается эффект дилатона на масштабный фактор (соответст-

вующий инфляционной Вселенной без дилатона). Также затрагивается вопрос о том, как влияет на стабильность инфляционной Вселенной возмущение решения для масштабного фактора.

Во втором параграфе изучается инфляционная дилатонная Вселенная де Ситтера для той же теории но также с учетом спиноров. Вычислено эффективное действие для такой теории на дилатонно-гравитационном фоне с использованием конформной аномалии, полученной посредством соответствия «Анти-де Ситтер / конформная теория поля». С учетом такого эффективного действия, как квантовой поправки к классическому гравитационному действию с космологической постоянной, рассматривается эффект дилатона на масштабный фактор (соответствующий инфляционной Вселенной без дилатона). Найдены явные примеры, соответствующие дилатонной Вселенной де Ситтера.

**В Заключение** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ**

### **ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:**

1. Quiroga Hurtado John. Spontaneous symmetry breaking in the brane world // Gravitation & Cosmology. Vol. 8. № 1/2 (29/30), 2002. P. 141-143.
2. Quiroga Hurtado John, Shaido Y.A. Quantum stabilization of Anti-de Sitter Universe // Gravitation & Cosmology. Vol. 8. № 4 (32), 2002. P. 294-298.

3. Quiroga Hurtado John, Arcos H.I., Ardila U.W. Role of the dilatonic potential in quantum stabilization of a dilatonic Anti-de Sitter Universe // Gravitation & Cosmology. Vol. 9. № 1-2 (33-34), 2003. P. 99-102.
4. Quiroga Hurtado John. Inflationary dilatonic de Sitter Universe from  $N = 4$  super Yang-Mills theory perturbed by scalars // Modern Physics Letters A. Vol. 18. № 18, 2003. P. 1257-1264.
5. Elizalde Emilio, Quiroga Hurtado John, Phantom and quantum matter in an Anti-de Sitter Universe // Preprint gr-qc/0310128 accepted for publication in MPLA.
6. Quiroga Hurtado John, Shaido Y.A. Stabilization of Anti-de Sitter Universe // Abstracts of 1<sup>st</sup> International conference theoretical and experimental problems of General Relativity and Gravitation. International workshop Gravity, strings and quantum field theory. Tomsk, 2003. P. 96.
8. Джон Кирога, Юлия А. Шайдо, Вклад дилатонного потенциала в стабилизацию дилатонной вселенной анти-де ситтсра с учетом квантовых эффектов // Тр. Международной школы-семинара по современным проблемам теоретической и математической физики // Под ред. А.В. Аминовой. Казань, 2003.
8. Brevik I., Quiroga Hurtado John. Inflationary Dilatonic De Sitter Universe From Super Yang-Mills Theory Perturbed By Scalars And Spinors // e-Print Archive: gr-qc/0311041.